

Jukka Korpelin

GENERAATTOREIDEN JÄÄHDYTYSMENETELMÄT JA LÄMMÖNVAIHTIMIEN PUHDISTUS

Opinnäytetyö

KESKI-POHJANMAAN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja Tuotantotekniikka

Huhtikuu 2011



TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Yksikkö Tekniikan liiketalouden yksikkö	Aika ja 22.3.2011	Tekijä/tekijät Jukka Korpelin
Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma		
Työn nimi Generaattorin jäähdytysjärjestelmät ja niiden vaihtimien puhdistusmenetelmät		
Työn ohjaaja TkT Martti Härkönen		Sivumäärä [24 + liite]
Työelämäohjaaja Konemestari Timo Kesti		
<p>Generaattori muuttaa voimalaitoksessa turbiinin tuottaman mekaanisen akselitehon sähköenergiaksi. Vaikka nykyaikaisten generaattorien hyötysuhteet ovatkin hyviä, syntyy muuntoprosessissa aina lämpöhäviöitä. Generaattoreiden kokoluokat ja hyötysuhteet ovat parantuneet, kun jäähdytysjärjestelmiä ja jäähdytyksen väliaineita on kehitetty. Sähköntuotannon kasvaessa nousee jäähdytyksen tarve merkittävästi.</p> <p>Tässä opinnäytetyössä tarkasteltiin generaattorin jäähdytysmenetelmiä ja vertailtiin niiden jäähdytysvaihtimien puhdistustapoja sekä kustannuksia. Puhdistustapoja olivat perinteinen mekaaninen puhdistus ja kemiallinen peittauspuhdistus. Kustannuksiin huomioitiin tarvikkeiden ja työ kustannusten lisäksi myös työn kestoaikana menetetyt sähköntuotannon tulot.</p>		
Asiasanat Generaattori, jäähdytys, jäähdytysvaihtimet, kemiallinen peittaus, vaihtimen puhdistus		

ABSTRACT

CENTRAL UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	OSTROBOTHNIA	Date March 2011	Author Jukka Korpelin
Degree programme Mechanical and Production Engineering			
Name of thesis Generator cooling systems and methods for cleaning the exchanger			
Instructor Martti Härkönen			Pages 24
Supervisor Timo Kesti			
<p>The mechanical shaft power produced by common steam turbines is usually converted into electrical energy by using power generators. Although the efficiencies of the modern power generators are very high, the conversion processes create always a lot of heat losses, which must be carried out in a way or another. This cooling demand is naturally highly increased., when the power generation is increased.</p> <p>In this final thesis various cooling methods of the power generators were discussed. Also the various cleaning methods of the generator cooling heat exchangers were studied. Proper cleaning methods were found to be either a traditional mechanical cleaning or a chemical pickling cleaning. The total cleaning cost between these two methods were compared by cleaning the heat exchangers once using these to different methods.</p>			
Key words			
Generator, chemical pickling, cooling, cooling exchangers, heat exchanger cleaning			

**TIIVISTELMÄ
ABSTRACT
SISÄLLYS**

1 JOHDANTO	1
2 STORA ENSO VEITSILUODON TEHTAAT	2
2.1 Yritysesittely	2
2.2 Voimalaitoksen esittely	3
3 GENERAATTORI	4
3.1 Generaattorin toiminta	4
3.2 Jäähdytysmenetelmät	5
4 GENERAATTORIN JÄÄHDYTYSVAIHTIMIEN PUHDISTUS	11
4.1 Generaattorin tiedot	11
4.2 Miten TG5:n jäähdytys on toteutettu	12
4.3 Miksi generaattorin jäähdytysvaihtimia täytyy puhdistaa	14
4.4 Vaihtimen kemiallinen peittauspuhdistus	16
4.5 Jäähdytysvaihtimien puhdistus kemiallisesti ja mekaanisesti	17
5 YHTEENVETO	23
LÄHTEET	

1. JOHDANTO

Erilaisissa voimalaitoksissa tuotetaan suurin osa maailman sähköstä. Turbiinin tuottama mekaaninen akseliteho muutetaan generaattorissa sähköenergiaksi. Vaikka nykyaikaisten generaattorien hyötysuhteet ovatkin hyviä, syntyy muuntoprosessissa aina lämpöhäviöitä, joten tehokkaampia jäähdytysmenetelmiä joudutaan ottamaan käyttöön. Näin generaattorien lämpötilat saadaan pidettyä haluttuina ja vältetään ylikuumenemisen aiheuttamat rikkoutumiset.

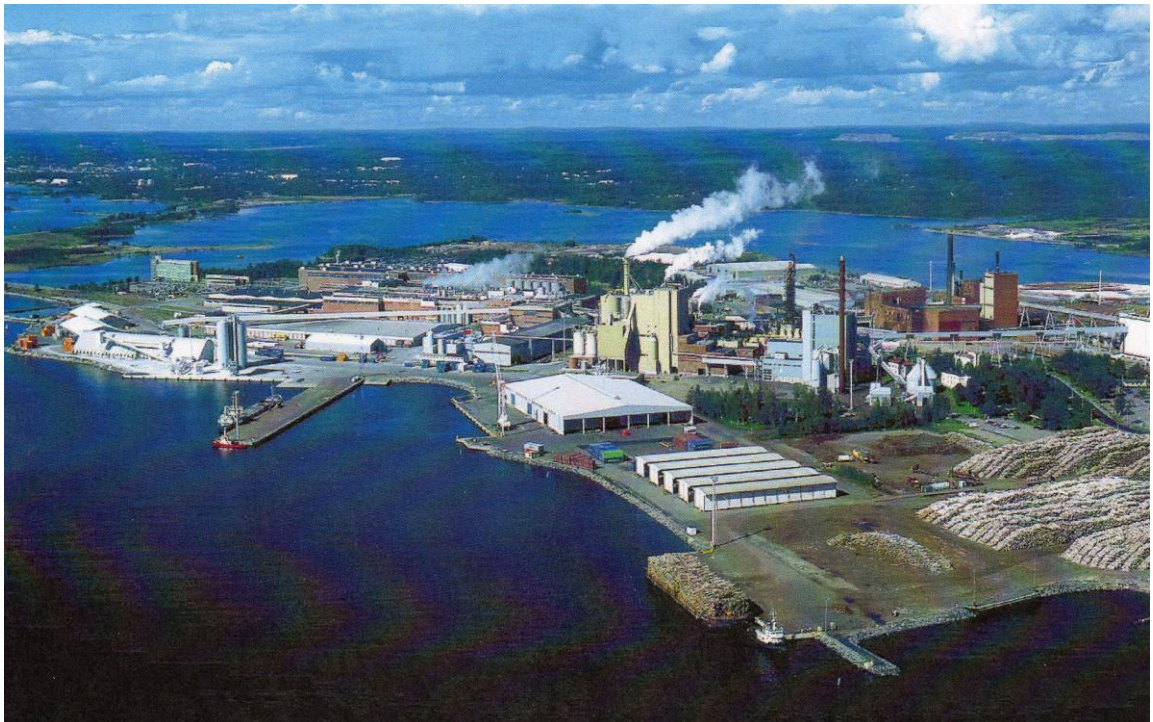
Lähtökohtana opinnäytetyöhön oli selvittää generaattoreiden erilaisia jäähdytystapoja. Generaattoreiden staattoreita ja roottoreita jäähdytetään suljetuilla kierroilla. Jäähdytyskierron väliaineena käytetään ilmaa, vetyä tai vettä. Yli 400 MW generaattoreissa käytetään staattorin jäähdytyksessä vettä ja roottorin jäähdytyksessä vetyä. Kiertävä kaasu tai vety/vesi jäähdytetään lämmönsiirtimissä, jotka ovat yleensä kaasu/nestepattereita. Lämmönsiirtiminä käytetään lamellipattereita, koska lamellit suurentavat lämmönsiirtopintaa ilmapuolelta. Suurempi lämmönsiirtopinta-alan tarve johtuu ilman heikommasta lämmönsiirtokertoimesta nesteeseen verrattuna. Lämpöä poiskuljettavana nesteenä on yleensä vesi tai vesi/glykoliseos. Tässä työssä vertaillaan myös Stora Enson Veitsiluodon tehtaan voimalaitoksen generaattorin jäähdytysvaihtimien mekaanista ja kemiallista puhdistusta sekä puhdistuskustannuksia. Kemiallisessa puhdistuksessa vertaillaan myös käynninaikeista ja huoltoseisokissa tapahtuvaa puhdistusta.

2. STORA ENSO VEITSILUODON TEHTAAT

2.1 Maailman pohjoisin paperitehdas

Stora Enson Veitsiluodon tehtaat sijaitsevat Pohjois-Suomessa Kemissä. Euroopan neljänneksi suurin paperitehdasintegraatti valmistaa toimistopapereita ja päällystettyä aikakauslehtipaperia. Tehtaiden palveluksessa on noin 900 henkeä. Puunjalostus Veitsiluodon saarella alkoi vuonna 1922, jolloin saha aloitti toimintansa. Tehtaan tuotteet laivataan Ajoksen satamasta, josta on säännöllinen reittiliikenne Lyypekkiin ja Göteborgiin. Veitsiluodon tehtaiden ympäristönsuojeluinvestointien kokonaiskustannukset olivat vuosina 1989-2009 yhteensä 61,6 miljoonaa euroa.

Tulostuspapereilla on Euroopan ympäristömerkin käyttöoikeus ja pohjoismaisen ympäristömerkin käyttöoikeushyväksyntä. Päällystetyillä aikakauslehtipapereilla on Euroopan ympäristömerkin käyttöoikeus ja käyttöoikeus hyväksyntä joutsenmerkityissä painotuotteissa. Tehdas valmistaa valkaistua mänty- ja koivusellua 375 000 t/a, päällystämätöntä hienopaperia 550 000 t/a ja päällystettyä hienopaperia 440 000 t/a.



KUVIO 1. Stora Enso Veitsiluodon tehtaat Kemissä

2.2 VEITSILUODON VOIMALAITOS

Stora Enson Veitsiluodon voimalaitos rakennettiin vuosina 2004-2006. Voimalaitos otettiin käyttöön syyskuussa 2006. Kattilassa käytetään polttoaineena puujätettä, pala- ja jysinturvetta. Tukipolttoaineena käytetään öljyä.

TAULUKKO 1. Tietoja Stora Enso Veitsiluodon voimalaitoksesta.

Öljykattila (varakattila)	193 MW
Kiinteän polttoaineen kattila	246 MW
Fossiiliset polttoaineet	
Turve	790 GWh
Öljy	54 GWh
Biopolttoaineet	
Puujäte	724 GWh
Turbogeneraattorin sähköteho	93 MW
Sähköntuotanto	525 GWh
Koko tehtaan sähkönkulutus	845 GWh

Päästöt

Hiukkaset	5 t/a	3 mg/m ³
SO ₂	650 t/a	277 mg/m ³
NO _x	608 t/a	276 mg/m ³

Päästöjen vähenemä aiemmalta tasolta vuonna 2009

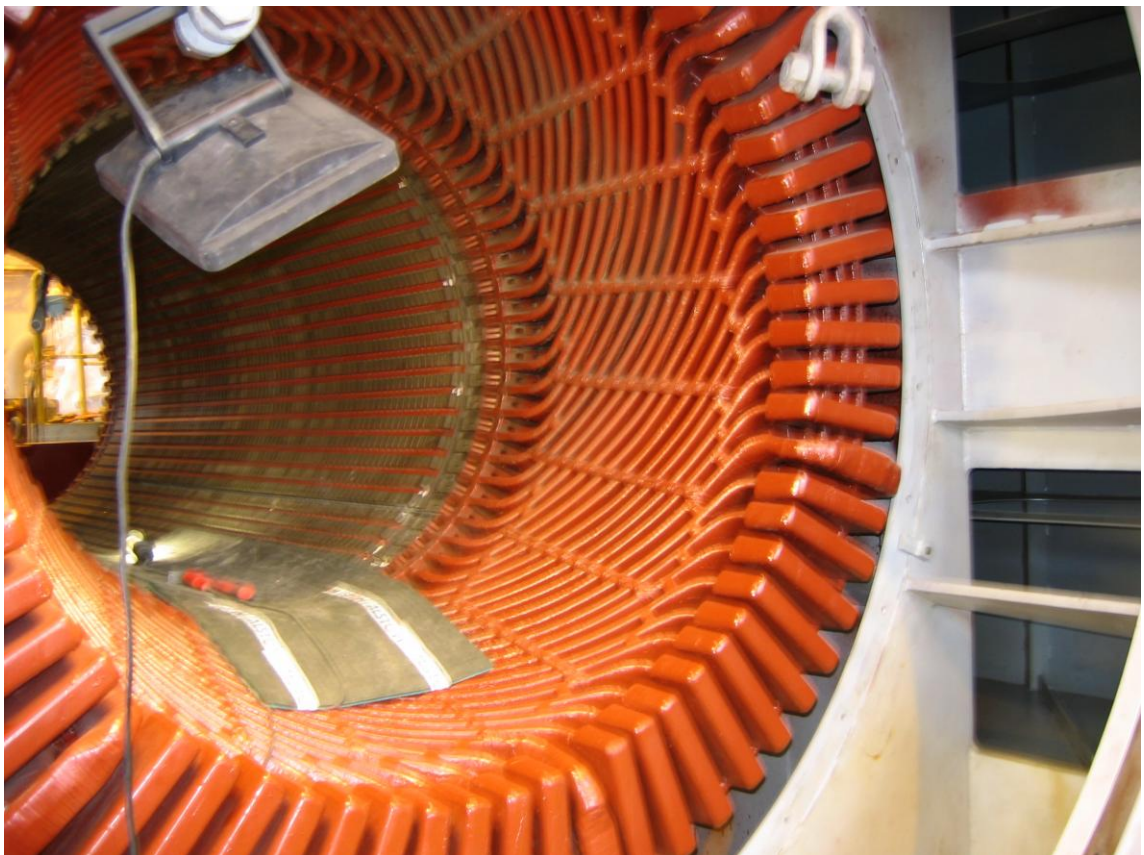
Hiukkaset	> 95 %
SO ₂	40 %
NO _x	40 %

3. GENERAATTORI

3.1 Generaattorin toiminta

Turbiinin kanssa samaan akseliin kytketyssä generaattorissa pyörimisliikkeen energia muutetaan sähköenergiaksi. Generaattori muuttaa mekaanisen energian sähköenergiaksi induktioperiaatteen avulla. Generaattorin toiminta perustuu johtimen liikkeeseen magneettikentässä leikaten magneettikentän voimaviivoja. Generaattorin toiminnan pääkomponentit ovat roottori ja staattori. Roottori on pyörivä osa, joka saa pyörintävoiman turbiinilta. Staattori on generaattorin paikallaan pysyvä osa.

Voimalaitosgeneraattoreissa virta synnytetään staattorissa oleviin johdinvyyhteihin, jotka ympäröivät staattoria. (kuvio 2)



KUVIO 2. ABB:n valmistaman generaattorin staattori

Roottori on myös ympäröity käämityksellä. Johtamalla käämeihin tasavirtaa, saadaan roottorin pinnalle muodostettua magneettisia napoja. Magneettisten napojen määrä ilmoitetaan parillisena napaparilukuna. Tasavirta saadaan roottoriin magnetointigeneraattorista, joka on useimmiten samalla akselilla voimalaitosgeneraattorin kanssa.

Voimalaitoksissa käytetään yleisesti suurnopeusgeneraattoreita. Suomessa yleisimmät generaattorien pyörimisnopeudet ovat 1500 tai 3000 kierrosta minuutissa ja taajuus 50 Hz. Napoja on yleensä kaksi tai neljä. Yhdysvalloista löytyy generaattoreita joiden pyörimisnopeus voi olla 1800 ja 3600 kierrosta minuutissa.

Voimalaitosgeneraattoreiden hyötysuhteet ovat 98-99 prosentin tasoa. Häviöt vaihtelevat generaattoreittain. Eräässä 660 MW generaattorissa syntyi 9,3 MW häviöt. Häviöitä olivat muun muassa rautahäviöt, staattorin ja roottorin kuparihäviöt, sekä lisärautahäviöt ja laakerihäviöt. Voidaan olettaa, että kaikki energia mitä ei saada muutettua sähköenergiaksi, muuttuu lämmöksi. Niinpä jäähdytystehoa tarvitaan, jotta generaattorit eivät ylikuumene .

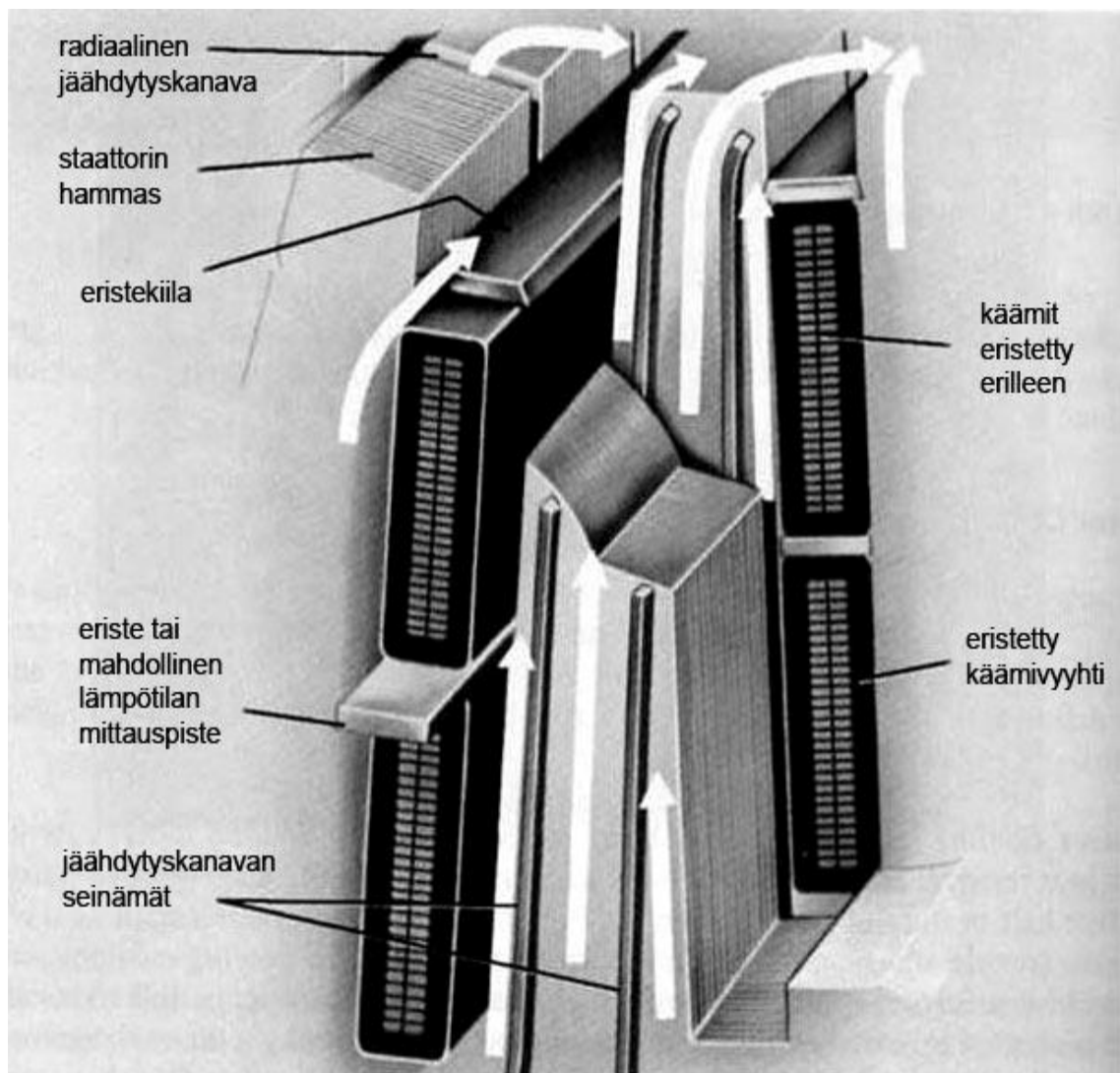
3.2 JÄÄHDYTYSMENETELMÄT

3.2.1 Staattorin jäähdytys

Voimalaitosgeneraattorien staattoreita jäähdytetään sekä nesteillä että kaasuilla. Nesteinä generaattoreiden sisäisessä jäähdytyksessä käytetään vettä ja kaasuina käytetään ilmaa ja vetyä. Voimalaitosgeneraattorien sisäisessä jäähdytyskierrossa jäähdytysaineen virtauskanavat ovat monimutkaisia ja ne koostuvat monista erilaisista osioista. Myös niiden tarkat jäähdytystavat vaihtelevat tietenkin valmistajittain, mutta staattorin käämien jäähdytys voidaan karkeasti jakaa epäsuoraan ja suoraan jäähdytykseen.

Epäsuora jäähdytys

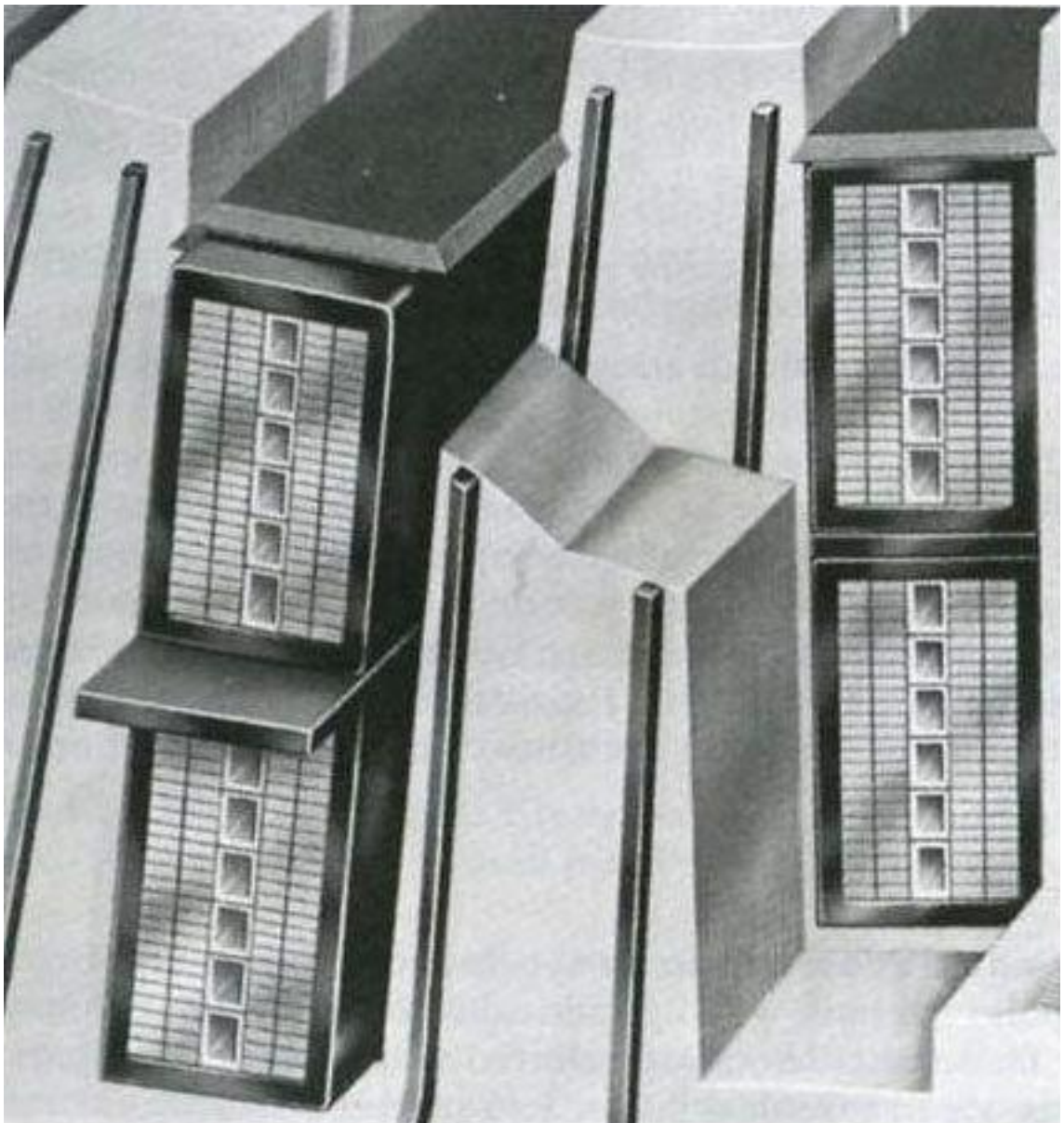
Tätä jäähdytystapaa kutsutaan perinteiseksi jäähdytystavaksi. Jäähdytystapa on ollut käytössä jo varhaisimmissa voimalaitosgeneraattoreissa. Perinteisesti jäähdyttävä aine on johdettu kulkemaan erilaisten kanavien läpi staattorissa. Näin toteutetussa jäähdytyksessä käämeihin syntyvän lämmön pitää kulkea sekä sähköeristeen, että ympäröivän metallin läpi, ennen kuin se saavuttaa virtaavan jäähdytysaineen. (Elliot, Thomas C., Chen, Kao, Swanekamp, Robert C. 1998.)



KUVIO 3. Epäsuora jäähdytys, nuolet kuvaavat jäähdytysvirtaa.(Elliot ym.1998)

Suora jäähdytys

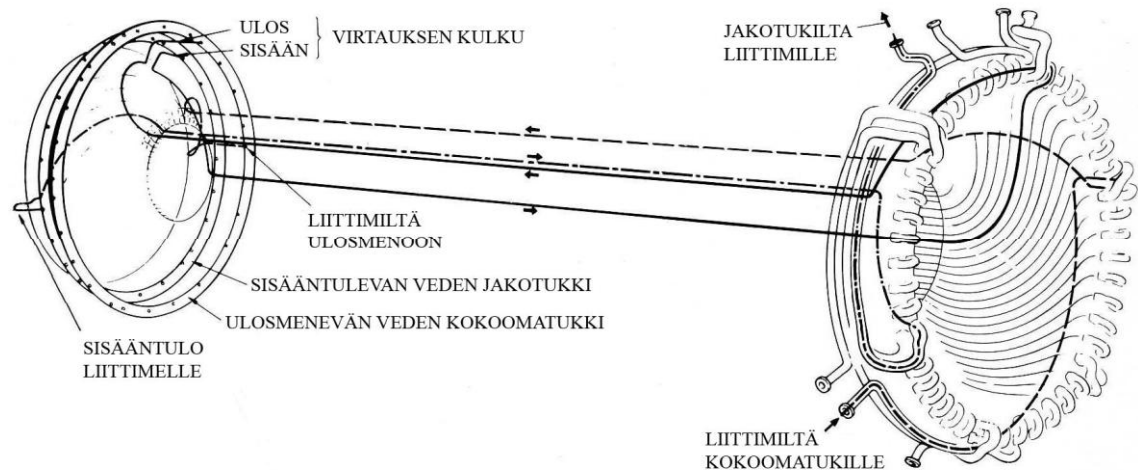
Jäähdytystehon tarpeen kasvaessa otettiin käyttöön jäähdytystapa, jossa jäähdytysaine tuotiin lähemmäs kuumenevia käämejä. Suorassa käämien jäähdyttämisessä jäähdytysaine johdetaan käämien sisällä kulkeviin jäähdytyskanaviin. Kanavat ovat kuitenkin sähköeristetty käämeistä eikä niihin indusoidu virtaa. (Elliot ym. 1998)



KUVIO 4. Vetykaasulla toteutettu suora jäähdytys. (Elliot ym. 1998)

Jäähdyttäminen vedellä

Vettä käytetään pääasiassa yli 400 MW generaattorien staattorin käämien jäähdytykseen. (British Electricity International Ltd. (BEI) 1991)



KUVIO 5. Staattorin suoran vesijäähdytyksen kiertoaji. (BEI 1991, 488)

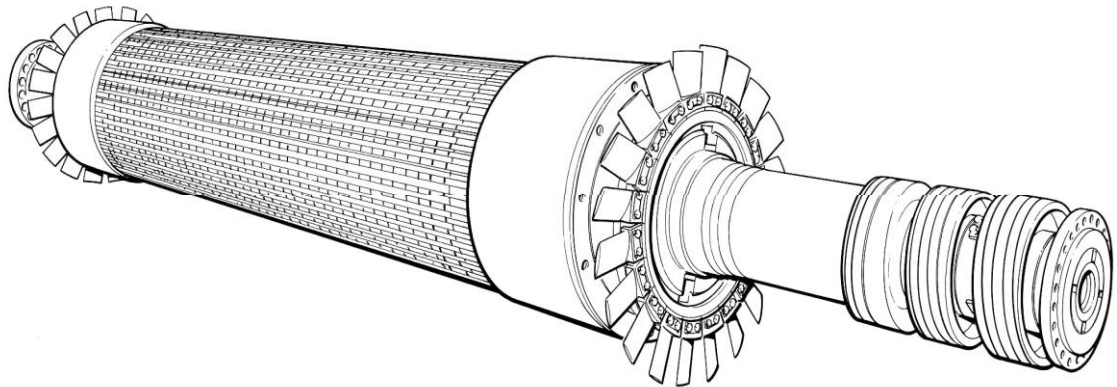
Jakotukilta lähtevä vesi kulkee staattorin käämin sisällä staattorin päihin. Päädyissä virtaus jäähdyttää kääminpäitä ja kierrettyään kierroksen vesi palaa kokoomatukin kautta veden käsittelyyn, josta vesi palaa kiertoön jäähdytyksen ja analysoinnin jälkeen.

3.2.2 Roottorin jäähdytys

Myös roottorin käämejä jäähdytetään suoralla ja epäsuoralla jäähdytyksellä. Jäähdytysaineena voidaan käyttää vetyä, ilmaa tai vettä. (Elliot ym. 1998) Turvallisempaan vaihtoehtona voidaan kuitenkin pitää kaasulla jäähdyttämistä, koska veden johtaminen pyörivään sähkölaitteeseen tuo mukanaan rakenteellisia ja toiminnallisia hankaluuksia muun muassa mahdolliset vuodot (BEI 1991, 491)

Jäähdyttäminen ilmalla ja vedyllä

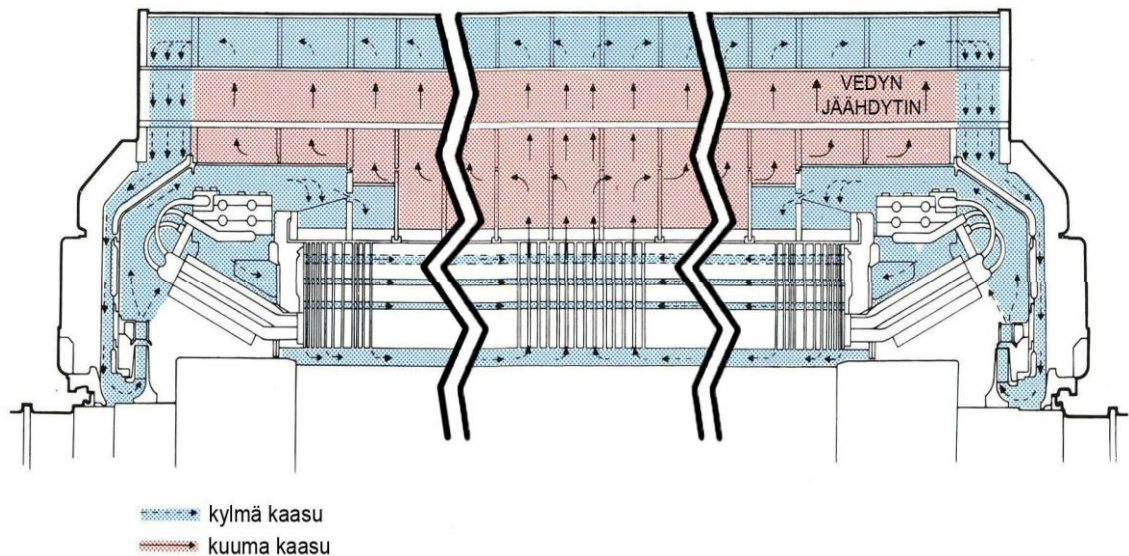
Ilmaa ja vetyä kierrätetään generaattorissa roottorin akselin päissä olevien puhaltimien avulla. Puhaltimien avulla kierrätettävä kaasu kulkee generaattorin rungon sisällä jäähdyttäen runkoa, roottoria sekä käämien päitä staattorin päädyissä. (BEI 1991, 470)



KUVIO 6. Jäähdytyskaasuja kierrättävät tuulettimet roottorilla. (BEI 1991, 470)

Kun kaasuvirtaus on toteutettu suljetulla kierrolla, niin kaasun jäähdyttimet sijaitsevat rungon sisällä. Kiertävä ilma tai vety jäähdytetään lämmönsiirtimissä yleensä vedellä tai vesi/glykoliseoksella. Lämmönsiirtimet voidaan sijoittaa generaattorin koteloon sivuille tai poikittain generaattorin akselitasen alapuoliseen tai yläpuoliseen vaippaan. Lämmönsiirtiminä käytetään vesi/ilmapattereita. Patterit koostuvat lukuisista ohuista lamelleista ja lamelliputkista, jotka laajennetaan mekaanisesti kiinni lamelleihin. Rakenne takaa sen, että putkien läpi virtaava neste voi tehokkaasti jäähdyttää lamellipakan läpi virtaavan ilman. (Fläkt woods esite)

Pienimpiä generaattoreita jäähdytetään myös avoimella ilmakierrolla. Siinä jäähdyttävä ilma otetaan generaattorin ulkopuolelta ja kierrettyään jäähdytyskanavien läpi se palautetaan generaattorin ulkopuolelle.



KUVIO 7. Poikkileikkaus vetyjäähdytetystä generaattorista. (BEI 1991, 474)

Vety kiertää jäähdyttäen ensin roottoria ja staattoria, jonka jälkeen se jäähdyttää vielä runkoa. Sitten vety kiertää vesijäähdyttimien kautta viilenneenä uudelleen kiertoon hyödyntäen roottorin sisäisiä virtauskanavia ja staattorin radiaalisia kanavia.

Ilmalla jäähdytetyt generaattorit ovat yleensä alle 200 MW kokoluokkaa, kun taas vetyjäähdytteiset ovat 200–400 MW. Yli 400 MW teholuokan generaattorit ovat vesi + vetyjäähdytteisiä. Sisäisen jäähdytyskierron väliaineen valintaan vaikuttaa väliaineiden erot lämmönjohtavuudessa. Lämmönjohtavuus eri väliaineilla 50°C ja 1,013 bar paineessa (ilma 0,028 W/mK; vety 0,193 W/mK ja vesi 0,645 W/mK).

Vetyjäähdytteiset generaattorit tarvitsevat monimutkaisempia laitekokonaisuuksia verrattuna ilmajäähdytteisiin. Vetyä käytetään yleensä 5 bar paineella.

Lämmönsiirtymistapaa generaattoreiden jäähdytyspiirin pinnalta kiertävään nesteeseen tai kaasuun nimitetään pakotetuksi konvektioksi. Pakotetussa konvektiossa kaasunkierto tapahtuu ulkoisista syistä kuten generaattorin roottorin päissä olevilla tuulettimien synnyttämällä virtauksella.

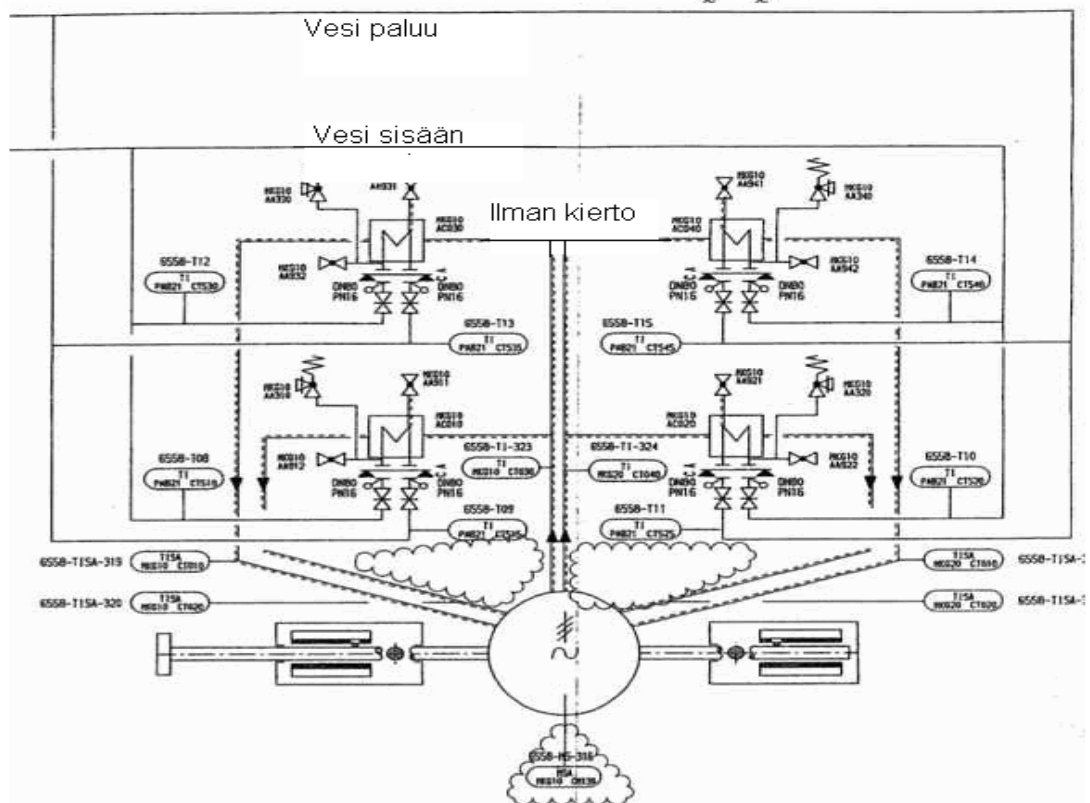
4. GENERAATTORI

4.1 Generaattorin tiedot

Generaattorin valmistaja on ABB Industrial Systems. Generaattori on valmistettu ABB Turbiinin Nürnbergin tehtaalla Saksassa. Generaattori on tyypiltään GTL 1530 EY. Stora Ensolla turbiini on nimetty TG5:ksi.

TAULUKKO 2. Generaattorin tietoja.

Näennäisteho	115 MW
Sähköteho	93 MW
Jännite	10,5 kV
Taajuus	50 Hz
Roottorin paino	27,8 t
Staattorin paino	109,2 t
Jäähdytysvaihtimen teho	1540 kW
Ilmamäärä	42 m ³ /h
Maksimi jäähdytysvesivirtaus	169 m ³ /h
Maksimi ilmanlämpötila	72 °C



KUVIO 8. Generaattorin veden ja ilman kiertokaavio. (ABB Turbin)

4.2 TG5:n jäähdytyksen toteutus

Veitsiluodon voimalaitoksen turbogeneraattorissa TG5 on epäsuorajäähdytys. Siinä jäähdytykseen käytettävä ilma on johdettu kulkemaan erilaisten kanavien läpi staattorissa. Käämeihin syntyvän lämmön pitää kulkea sekä sähköeristeen, että ympäröivän metallin läpi, ennen kuin se saavuttaa virtaavan jäähdytysaineen. Ilmaa kierrätetään generaattorissa roottorin akselin päissä olevien tuuletin siipien avulla.



KUVIO 9. TG 5:n roottorin päässä olevat tuuletussiivekkeet

Jäähdytys on toteutettu suljetulla kierrolla. Ilma kiertää generaattorissa jäähdyttäen ensin roottoria ja staattoria, jonka jälkeen se jäähdyttää vielä runkoa. Sitten ilma kiertää vesijäähdyttimien kautta viilenneenä uudelleen kiertoonsa hyödyntäen roottorin sisäisiä virtauskanavia ja staattorin radiaalisia kanavia.

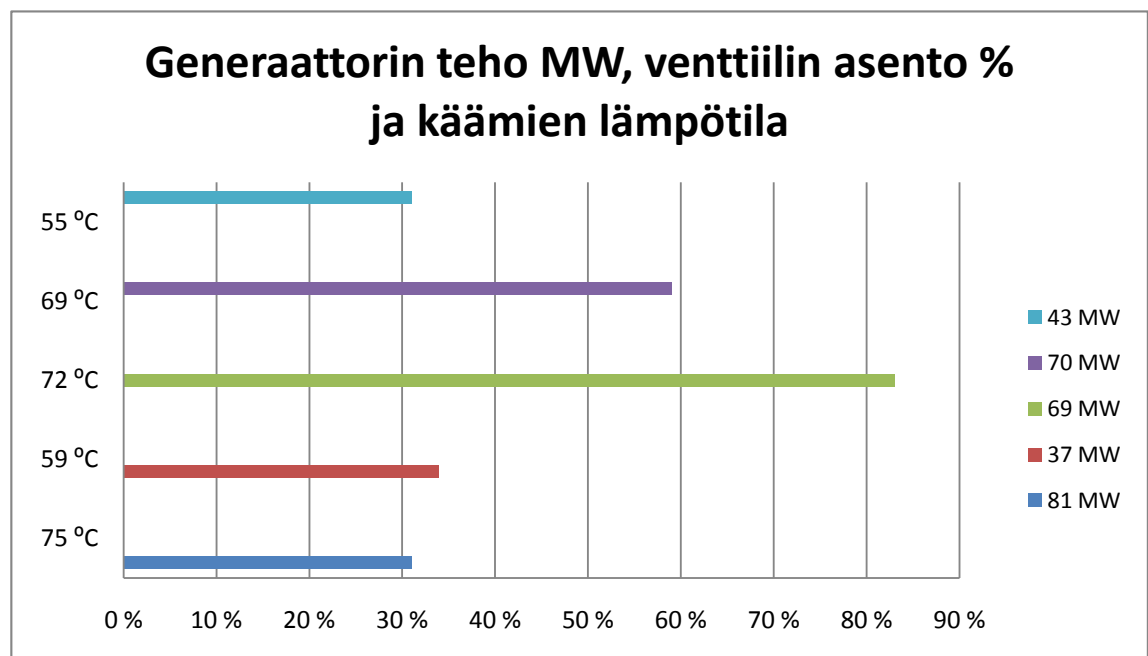
Jäähdyttimiä on neljä kappaletta ja ne ovat pystyasennossa molemmin puolin generaattoria rungon sisällä. Toisiopiirissä jäähdytysaineena toimii tehdasvesi. Jäähdytysveden paluukierron lämpötila on asetettu arvoon 37 °C. Veden lämpötilan ylittäessä asetusarvon, avautuu kiertovesisäiliön poistoventtiili ja viileää tehdasvettä tulee tilalle. Jäähdytysvaihtimelta palaavan ilman lämpötila ei saisi ylittää 32 °C. Sisäkierron ilman jäähdytystavoite on 40 °C. Käämeiltä palaavan kuuman ilman lämpötila ei saa olla suurempi kuin 72 °C.

Tarkkailuajankohtana 19.4.-1.7.2010 kiertovesisäiliön poistoventtiili oli tiedonkeruun mukaan avoinna välillä 25 - 85 %. Sähkön tuotanto oli 81 MW ja 69 MW välillä.

TAULUKKO 3. Muutamia poimintoja tiedonkeruun tuloksista.

Päivämäärä	Sähkön tuotto	Käämien lämpötila	Kiertovesisäiliön venttiili asento prosentteina
------------	---------------	-------------------	---

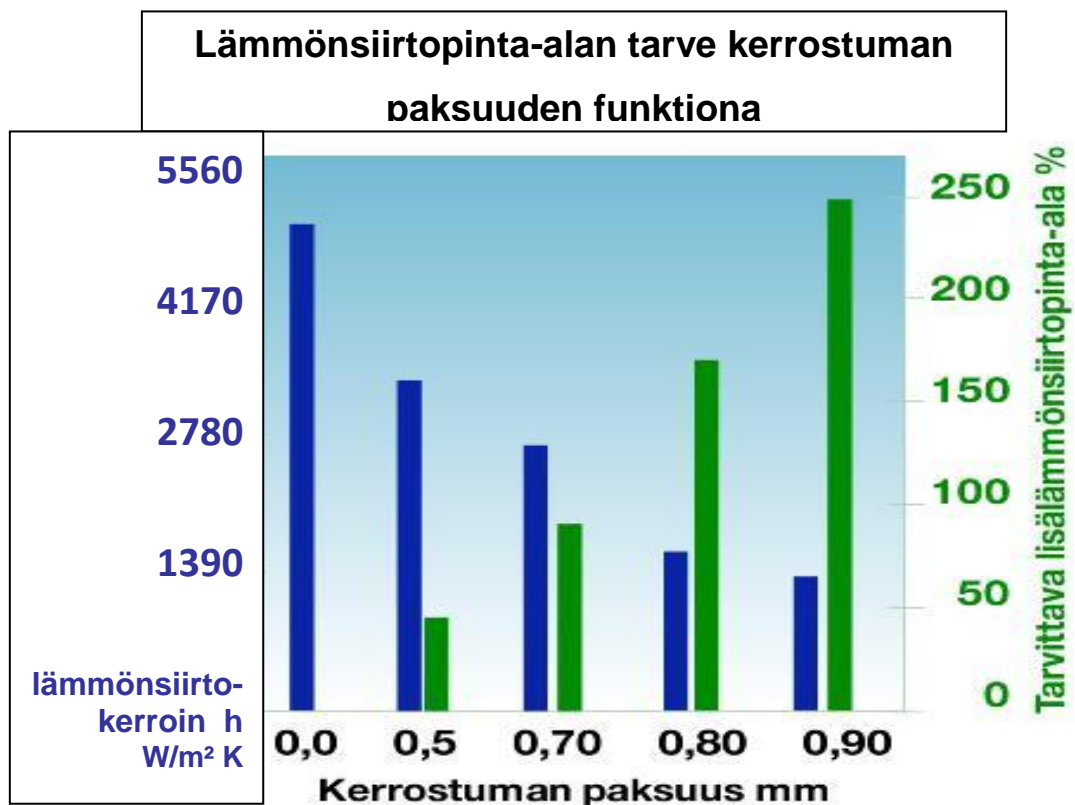
19.4.2010	81 MW	75 °C	31 %
28.5.2010	37 MW	59 °C	34 %
30.6.2010	69 MW	72 °C	85 %
Pesu aloitettu			
1.7.2010	70 MW	69 °C	59 %
Pesun jälkeen			
2.7.2010	43 MW	55 °C	31 %



KUVIO 10. Otteita voimalaitoksen tiedon keruujärjestelmästä.

4.3 Miksi generaattorin jäähdytysvaihtimia täytyy puhdistaa

Tehdasvesi pumpataan Kemijoesta. Se on käsittelemätöntä mekaanisesti suodatettua pintavettä, jossa korostuu vuodenaikojen vaihteluerot veden laadussa. Vesi sisältää runsaasti orgaanisia sekä humukseen sitoutuneita epäpuhtauksia, jotka kiinnittyvät jäähdytyspattereiden putkien seinämiin ja aiheuttavat lämmönsiirtoa haittaavan kerrostuman. Kerrostuman muodostus on huomioitu jo vaihtimen mitoitusvaiheessa. Likaantuminen johtaa aina lämmönsiirron tehokkuuden alentumiseen ja sitä kautta lisääntyvän lämmönsiirtopinta-alan tarpeeseen. Likaantuminen kasvattaa myös virtausvastusta, aiheuttaen lisääntyviä paine- ja tehohäviöitä.



KUVIO 11. Kerrostuman merkitys lämmönsiirtopinta-alaan.

Alkukesällä, kun tehdasveden lämpötila nousee, alkavat käämien lämpötilat nousta liian korkealle. Silloin joudutaan tuotettua sähkötehoa rajoittamaan, ellei jäähdytysvaihtimien vesipuolta puhdisteta. Vaihtimet voidaan puhdistaa mekaanisesti avaamalla tai kemiallisesti. Kemiallisessa puhdistuksessa vaihtimia ei tarvitse avata.

4.4 Vaihtimen kemiallinen peittauspuhdistus

Kemiallisessa puhdistuksessa käytetään sitruuna-, oksalaatti-, fosfori- tai suolahappoja. Happoja käytetään keskenään sekoituksena tai yksittäin riippuen kohteen likakerrostuman muodostuksesta ja materiaaleista. Happojen kanssa pesuliuoksessa käytetään monimetallisuojainhibiittiä, jonka tehtävänä on suojata järjestelmän metallipintoja syöpymiltä. Pinnat eivät puhdistu tasaisesti, vaan jostakin kohdasta likakerrostuma irtaantuu helpommin ja paljas metallipinta altistuu hapon vaikutuksille.

Kemiallisessa peittauspuhdistuksessa vaihdinta ei tarvitse purkaa ja avata, eikä vaihdinta tarvitse siirtää erilliselle pesupaikalle. Pesua varten tulee putkipuolella olla venttiiliyhteet, josta pesukemikaalia voidaan kierrättää. Vaihdin tulee erottaa muusta kierrosta sulkemalla tulo- ja poistoputken sulkuventtiilit. Neste kierrätetään pesukoneikon tai järjestelmän omalla pumpulla. Koneikossa voi olla nesteen lämmitin- tai jäähdytysvaihdin. Kiertonesteen lämpötila pyritään pitämään 35 - 45 °C välillä, koska peittaus happo toimii silloin parhaiten. Pesun etenemistä seurataan titraamalla hapon väkevyyttä ja seuraamalla värinmuutoksia. Happopesun jälkeen järjestelmä huuhdellaan ja pinnat neutraloidaan emäsluoksella.

Suomen KL-Lämpö Oy valmistaa ja markkinoi vedenkäsittelyyn liittyviä kemikaaleja, laitteita ja palveluja. Yritys on perustettu 1993 ja työllistää 27 henkeä. Tuotanto ja varasto sijaitsevat Pirkkalassa. Peittauspuhdistukset ovat osa yrityksen erikoisosaamista. Vuosittain yrityksen toimesta pestään satoja vaihtimia ja järjestelmiä. Suomen KL-Lämpö on vakiinnuttanut paikkansa teollisuuden luotettavana yhteistyökumppanina niin energiansiirtoon liittyvissä asioissa kuin myös erilaisista epäpuhtauksista johtuvien ongelmien ratkaisijana.

4.5 TG 5:n jäähdytysvaihtimien puhdistus kemiallisesti ja mekaanisesti

Tässä osassa opinnäytetyötä vertaillaan etuja ja kustannuksia, joita syntyy eri puhdistusmenetelmillä. Kemiallinen peittauspuhdistus voidaan suorittaa joko tuotannon aikana tai huoltoseisokissa. Mekaaninen puhdistus voidaan suorittaa vain huoltoseisokissa. Vaihtimet puhdistuvat yhtä puhtaaksi kummallakin menetelmällä.

4.5.1 Kemiallinen puhdistus sähköntuotantoa keskeyttämättä

TG 5:n vaihtimet puhdistettiin kemiallisesti sähköntuotannon ollessa käynnissä. Kierrätysyksikkö oli varustettu jäähdytysvaihtimella. Työt aloitettiin kello 10.30 varusteiden nostolla turbiinisalin generaattorikerrokseen. Peittauspuhdistus alkoi kello 12.00, jolloin tehtiin valvomoon ilmoitus töiden aloituksesta. Valvomossa seurataan, että käämien lämpötilat eivät kohoa liian korkealle pesun aikana. Työn suoritti kaksi henkilöä.

Työvaiheet:

- peittaus happojen ja kierrätysyksikön nosto turbiini tasolle

Nämä työvaiheet toistettiin jokaisen neljän vaihtimen kohdalla :

- liittimien asennus ja kierrätysletkujen kytkeminen
- vaihtimen kiertuventtiilien sulkeminen ja venttiilin pitotesti
- kierrätysyksikön jäähdytysvaihtimen käynnistys
- vesikierrätys vuotojen varalta
- generaattorin jäähdytysvaihtimen happokierrätys
- generaattorin vaihtimen tyhjennys haposta keruukonttiin
- vesihuuhtelu ja pintojen neutralointi emäsluoksella
- vaihtimen käyttöönotto

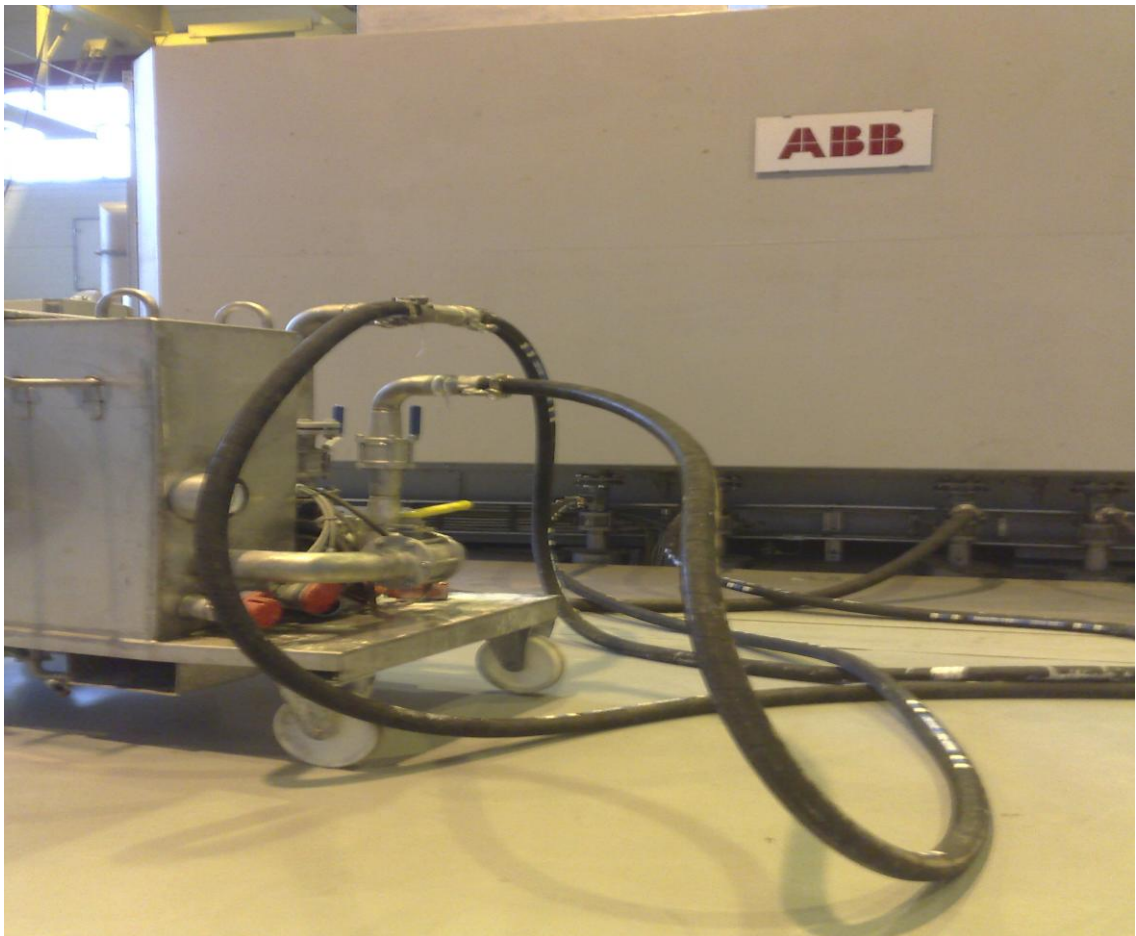
- lopuksi peittausjätteiden ja kierrätysyksikön laskeminen sali pohjakerrokseen.

Työn kesto ja peittausaineiden määrä:

- kokonaistyöaika kahdelta työn suorittajalta $2 \cdot 16 \text{ t} = 32 \text{ tuntia}$
- happoja 500 litraa
- neutralointiainetta 100 litraa

Kokonaiskustannus noin 5400 euroa.

Generaattori oli sähköntuotannolla koko ajan noin 70 MW teholla. Jos lasketaan MWh hinnaksi 40 euroa, niin Stora Enso säästi peittauksen aikana 2800 euroa per tunti verrattuna siihen, että tuotanto olisi ajettu alas. Säästö oli $70 \text{ MW} \cdot 32 \text{ h} \cdot 40 \text{ €/MWh} = 89\,600 \text{ euroa}$.



KUVIO 12. Peittausyksikkö generaattorin jäähdytysvaihtimiin kytkettynä

4.5.2 Kemiallinen ja mekaaninen puhdistus huoltoseisokin aikana

Kesällä 2009 TG 5:n jäähdytysvaihtimet puhdistettiin kemiallisesti kattilan huoltoseisokin aikana. Kierrätysyksikkö oli varustettu lämmitysvastuksilla. Työt alkoivat varusteiden nostolla turbiinisalin generaattorikerrokseen. Peittauspuhdistus alkoi kello 8.00, jolloin tehtiin valvomoon ilmoitus töiden aloituksesta. Työn suoritti kaksi henkilöä. Vaihtimia pestiin kaksi kappaletta kerrallaan.

Työvaiheet:

- peittaushappojen ja kierrätysyksikön nosto turbiini tasolle

Nämä työvaiheet toistettiin jokaisen neljän vaihtimen kohdalla :

- liittimien asennus ja kierrätysletkujen kytkeminen
- vaihtimien kiertuventtiilien sulkeminen ja venttiilien pitotesti
- vesikierrätys vuotojen varalta
- generaattorin jäähdytysvaihtimen happokierrätys
- generaattorin vaihtimien tyhjennys haposta keruukonttiin
- vesihuuhtelu ja pintojen neutralointi emäsluoksella
- vaihtimien käyttöönotto

Lopuksi peittausjätteiden ja kierrätysyksikön laskeminen salin pohjakerrokseen.

Työn kesto ja peittausaineiden määrä:

- kokonaistyöaika kahdelta työn suorittajalta $2 \times 9,5 \text{ t} = 19 \text{ tuntia}$
- happoja 420 litraa
- neutralointiainetta 100 litraa

Kokonaiskustannus noin 4200 euroa.

Työn kokonaiskesto oli yksi työpäivä, jonka jälkeen tuotanto voitiin käynnistää.

Asiakkaan sähkön tuotannon menetys vaihtimien puhdistusajalta oli 10 tuntia eli $70 \text{ MW} \cdot 10 \text{ h} \cdot 40 \text{ €/MWh} = 28\,000 \text{ euroa}$.

Syksyllä 2010 oli turbiinirevisio, johon kuului myös generaattorin huolto. Jäähdytysvaihtimen mekaanisen puhdistuksen tiedot on koottu tästä revisiosta. Asennus ja puhdistustyön suoritti kaksi asentajaa.

Työvaiheet:

- työkalujen ja tarvikkeiden nosto turbiini tasanteelle
- jäähdytysvaihtimien putkiyhteiden irroitus laipoista



KUVIO 13. Vaihtimen putket irroitettuna jäähdytyskierrosta

- vaihtimien päällä olevien ilmausputkien irroitus
- vaihtimien päällä olevien suojalevyjen irroitus
- vaihtimien irroitus jäähdytyskotelosta
- vaihtimien nosto (Kuvio 14)
- vaihtimien päätyjen purku ja silmämääräinen kunnon tarkistus (kuvio 16)
- vaihtimien siirto alas pesupaikalle
- mekaaninen puhdistus vesipuolelta putki kerrallaan
- vaihtimien siirto ylös turbiinisaliin
- päätyjen kiinnitys

- vaihtimien nosto generaattoriin omiin koteloihinsa
- vesiputkien liittäminen jäähdytyskiertoon
- generaattorin päällä olevien suojalevyjen ja ilmausputkien kiinnitys
- tiiviiden tarkistus ja vesipainekoe



KUVIO 14. Jäähdytysvaihtimen nostotyöt



KUVIO 15. Jäähdytysvaihtimet pinottuna turbiinisalin lattialle



KUVIO 16. Vaihtimet päädyt irrotettuna, näkyvillä vesipuolen putkisto

Työn kesto ja tarvikkeiden kustannus:

- kokonaistyöaika kahdelta työn suorittajalta $2 \cdot 24 \text{ t} = 48 \text{ tuntia}$
- tiivisteet ja pultit sekä mutterit

Kokonaiskustannus noin 4000 euroa.

Työn kokonaiskesto oli kolme työpäivää, jona aikana ei voitu tuottaa sähköä. Stora Enson kemin voimalaitoksen sähkön tuotannon menetys mekaanisen puhdistustyön aikana oli $70 \text{ MW} \cdot 56 \text{ h} \cdot 40 \text{ €/MWh} = 156\,800 \text{ €}$.

5 YHTEENVETO

Voimalaitosgeneraattorit tuottavat pääosan sähköstä. Jäähdytysmenetelmien ja uusien väliaineiden kehitys on mahdollistanut teholtaan suurempien voimaloiden rakentamisen ja parantanut generaattorien hyötysuhteita. Nykyisiksi jäähdytyksen väliaineiksi ovat vakiintuneet ilma, vety ja vesi. Ilma on taloudellisin jäähdytysaine, mutta sillä voidaan jäähdyttää alle 200 MW teholuokan voimalaitosgeneraattorit. Sähkötehon kasvaessa jäähdytysaineena käytetään vetyä. Suurimmissa yli 400 MW generaattoreissa käytetään jäähdytyksessä vetyä ja vettä. Lämmönvaihtimien toisiopiirissä käytetään vettä tai vesi/glykoliseosta. Sen tehtävänä on jäähdyttää generaattorin varsinaista jäähdytysainetta.

Lämmönvaihtimina käytetään lamellipattereita, joiden putkipuoliin vedessä olevat epäpuhtaushiukkaset kiinnittyvät. Likaantuminen johtaa aina lämmönsiirron tehokkuuden alentumiseen ja sitä kautta lisääntyvän lämmönsiirtopinta-alan tarpeeseen. Likaantuminen kasvattaa myös virtausvastusta, aiheuttaen lisääntyviä painehäviötä. Näistä syistä johtuen lämmönvaihtimia tulee säännöllisesti puhdistaa.

Tarkastelun kohteena oli mekaanisen puhdistuksen ja kemiallisen peittauspesun kustannuserot. Vertailussa huomioitiin työ- ja tarvikekustannukset sekä menetetty sähköntuotto. Stora Enson Kemin voimalaitokselle edullisimmaksi puhdistustavaksi tuli kemiallinen peittauspesu tuotannon aikana. Voimalaitos säästi noin 84 000 euroa pesun aikana, kun laitosta ei tarvinnut ajaa alas. Huoltoseisokeissa tehdyt puhdistukset olivat tarvike- ja työkustannuksiltaan saman hintaiset. Erot syntyivät siitä, kun kemiallinen puhdistus vei sähköntuotantoaika 10 tuntia niin mekaaninen puhdistus vei kolme vuorokautta. Sähköntuotannon menetys oli huoltoseisokissa suoritettussa kemiallisessa peittauspesussa 28 000 euroa. Mekaanisessa puhdistuksessa tuotannon menetys oli 156 800 euroa.

Kemiallinen peittauspesu osoittautui edullisemmaksi vaihtoehdoksi näistä puhdistusmenetelmistä. Tuotannon aikana suoritettava peittauspesu on suunniteltava huolellisesti. Työnsuorittajien on oltava yhteydessä valvomoon, ettei käämien lämpötilat pääse nousemaan liian korkealle. Tuotannon aikana tehtävä peittauspesu vaatii erityistä huolellisuutta ja tarkkaavaisuutta työn suorittajilta.

Tämä vertailu osoittaa kemiallisen peittauspesun tuotannon aikana tai lyhyessä huoltoseisokissa olevan taloudellisin tapa ylläpitää vaihtimien hyvää energiansiirtotehoa.

LÄHTEET

ABB Industrial Systems 1992 , Turbiinikansio. Veitsiluodon voimalaitos

British Electricity International Ltd. (BEI) 1991, Modern power station practice, Volume C Turbines, Generators and Associated plant, Third edition, Oxford, Pergamon press.

Elliot, Thomas C., Chen, Kao, Swanekamp, Robert C. 1998. Standard handbook of powerplant engineering, Second edition, New York, McGraw-Hill.

GE Energy, Generator products [Verkkajulkaisu] Saatavissa: http://www.gepower.com/prod_serv/products/generators/en/downloads/generators.pdf

Härkönen, Martti. 2009. Koulutusmateriaali. Lämmönsiirto- ja virtaustekniikka. Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu Tekniikan ja liiketalouden yksikkö, Kokkola.

Stora Enso Veitsiluoto 2010. Yritysinfo. Www-dokumentti. Saatavissa: WWW.storaenso.com. esittely.exe.

Stora Enson Veitsiluodon voimalaitoksen tiedonkeruu järjestelmä, 2010.

Suomen KL-Lämpö Oy 2010. Yritysinfo. Saatavissa. <http://www.kl-lampo.com/yritysesittely>